

ANÁLISE LONGITUDINAL DAS MODIFICAÇÕES NO PERFIL BIOMECÂNICO DE NADADORES DE ELITE E O SEU IMPACTO NA PERFORMANCE AO LONGO DA ÉPOCA DESPORTIVA

Mário J Costa ¹, José A Bragada ¹, Erik J Mejias ¹, Daniel A Marinho ³, Hugo Louro ⁴ António J Silva ² e Tiago M. Barbosa ¹

¹ Instituto Politécnico de Bragança, CIDESD; mario.costa@ipb.pt; barbosa@ipb.pt;

² Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, CIDESD; ajsilva@utad.pt

³ Universidade da Beira Interior, CIDESD; dmarinho@ubi.pt

⁴ Escola Superior de Desporto de Rio Maior, CIDESD; hlouro@esdrm.pt

PALAVRAS CHAVE: Longitudinal, nadadores de elite, índice de nado, performance

RESUMO: O estudo teve como objectivo analisar as modificações nos pressupostos biomecânicos de nadadores de elite e o seu impacto na performance ao longo de uma época desportiva. Foram analisados 10 nadadores portugueses masculinos (4 de nível internacional 6 de nível nacional) em três momentos distintos correspondentes a Dezembro (M_1), Março (M_2) e Julho (M_3) da época desportiva de 2009-2010. Os parâmetros biomecânicos foram obtidos com recurso a um teste incremental de 7 x 200 m Crol em piscina de 50 m. Para ser possível comparar todos os sujeitos à mesma intensidade de esforço, procedeu-se à relativização dos parâmetros biomecânicos segundo a velocidade das 4mmol.L de lactato sanguíneo (V_4). Foram determinadas: (i) distância de ciclo (DC); (ii) frequência gestual (FG); (iii) índice de nado (IN) e; (iv) eficiência propulsiva (η_p). Em nenhuma das variáveis se verificaram diferenças com significado estatístico ao longo da época desportiva. A comparação entre momentos apenas demonstrou diferenças no IN dos nadadores nacionais de M_2 para M_3 ($IN_{M2} = 3,78 \pm 0,26 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$; $IN_{M3} = 3,88 \pm 0,22 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$; $P = 0,05$). Na comparação inter-grupal, a performance dos nadadores internacionais foi significativamente melhor em todos os momentos: M_1 (PerfInt: 115,38; PerfNac: 121,43; $P=0,03$), M_2 (PerfInt: 115,85; PerfNac: 121,25; $P=0,03$) e M_3 (PerfInt: 115,18; PerfNac: 121,41; $P=0,02$). Foram ainda verificados valores perto da significância estatística para o IN em M_1 (INInt:4,12, INNac:3,75; $P=0,06$) e M_3 (INInt:4,22, INNac:3,88; $P=0,07$). Desta forma, parece não se darem modificações significativas no padrão biomecânico de nadadores de elite ao longo da época desportiva. No entanto o IN poderá ser o responsável pela melhoria na performance e determinante na transição de um patamar nacional para um internacional.

1 INTRODUÇÃO

Diversos estudos têm sido realizados no sentido de determinar os factores que mais e melhor predizem a performance em natação pura desportiva. A área da Biomecânica tem vindo a ser apontada como determinante para alcançar elevados níveis de rendimento neste desporto. Contudo, a maioria dos estudos neste âmbito são desenhos transversais, não

tendo em vista as variações no perfil dos nadadores tomando em consideração o factor temporal. Até ao momento são poucos os estudos de cariz longitudinal que objectivaram investigar as modificações dos parâmetros biomecânicos. Foram verificadas melhorias significativas na distância de ciclo (DC) [1], frequência gestual (FG) [2] e modificações

sem significado estatístico em ambas [3] após épocas de treino. Poucos são também os estudos que objectivaram analisar tais modificações e, ao mesmo tempo, compreender a magnitude de importância de cada factor biomecânico na performance. Um programa de treino baseado na relação FG-velocidade permitiu uma melhoria no perfil biomecânico do nadador com consequências positivas na performance [4]. Após duas épocas de treino foi verificado que o índice de nado (IN) se apresentou como o parâmetro com maior impacto na performance na prova de 400m Livres em nadadores jovens [5; 6]. Contudo, parece não existir nenhum estudo que analise as modificações nos pressupostos biomecânicos de nadadores de elite e procure o seu entendimento através da análise de diferentes níveis competitivos. Foi objectivo deste estudo analisar as modificações dos pressupostos biomecânicos de nadadores de elite e o seu impacto na performance ao longo de uma época desportiva.

2 METODOLOGIA

2.1 AMOSTRA

Foram analisados dez nadadores do sexo masculino (20 ± 3.12 anos de idade; 1.80 ± 0.07 m de estatura; 73.02 ± 7.52 kg de massa corporal; 1.87 ± 0.06 m de envergadura e; 116.01 ± 4.29 s recorde pessoal nos 200 m Livres). 4 nadadores de nível internacional (Int) com presença regular em competições internacionais na época anterior em representação da selecção nacional. 6 nadadores de nível nacional (Nac) com presença assídua em campeonatos nacionais.

2.2 DESENHO DO ESTUDO

O estudo analisou a época desportiva de 2009-2010. Para tal recorreu-se a três momentos de avaliação: (i) Dezembro de 2009 (M_1); (ii) Março de 2010 (M_2) e ; (iii) Junho de 2010 (M_3). Em cada momento foi aplicado um teste incremental de $n \times 200$ m Crol ($n < 8$), em piscina de 50 m, com aumentos de $0,05 \text{ m.s}^{-1}$ entre patamares e 30 s de recuperação [7]. A

velocidade inicial foi determinada para aproximadamente $0,3 \text{ m.s}^{-1}$ inferior à melhor performance do nadador na prova de 200 m Crol. A velocidade correspondente a cada patamar foi mantida constante pela colocação de um sistema de luzes no fundo da piscina denominado pacer (GBK-Pacer, GBK Electronics, Aveiro, Portugal).

2.3 PERFORMANCE

A performance (200 m) foi obtida com base nos tempos na prova de 200 m Crol em competições oficiais de índole regional, nacional ou internacional em piscina longa. O tempo de intervalo entre a aplicação do protocolo e a obtenção dos valores de performance foi inferior a duas semanas.

2.4 DADOS BIOMECÂNICOS

Na análise biomecânica foram determinados a frequência gestual (FG, Hz), distância de ciclo (DC, m) o índice de nado (IN, $\text{m}^2.\text{c}^{-1}.\text{s}^{-1}$) e a eficiência propulsiva (η_p , %). A FG foi medida com um cronofrequencímetro de base 3 (Golfinho Sports MC 815, Aveiro, Portugal), pela avaliação de 3 ciclos consecutivos dos membros superiores nos 15 m intermédios da distância total da piscina. A DC foi calculada sabendo que [8]:

$$DC = \frac{v}{FG} \quad (1)$$

em que DC corresponde à distância de ciclo (em m), v corresponde à velocidade (em m.s^{-1}) e FG é a frequência gestual (em Hz). O IN foi obtido através da equação [9]:

$$IN = v \cdot DC \quad (2)$$

onde IN representa o índice de nado (em $\text{m}^2.\text{c}^{-1}.\text{s}^{-1}$), v diz respeito à velocidade (em m.s^{-1}) e DC é a distância de ciclo (em m). Já a η_p foi calculada sabendo que [10]:

$$\eta_p = \left[\left(\frac{v \cdot 0.9}{2\pi \cdot SF \cdot l} \right) \cdot \frac{2}{\pi} \right] \cdot 100 \quad (3)$$

onde η representa a eficiência propulsiva (em %), v representa a velocidade em m.s^{-1}), multiplicada por 0,9 tendo em conta que a contribuição dos membros superiores para a propulsão é sensivelmente 90%, FG representa a frequência gestual, e l representa a distância do segmento ombro-mão. O valor de l foi obtido trigonometricamente através da medição do comprimento do braço, tendo em conta os valores médios dos ângulos obtidos durante a acção lateral interior aquando a fase propulsiva da braçada, como sugerido por Zamparo [11]. A equação adoptada consiste na estimação da eficiência de Froude. A diferença entre a eficiência de Froude e a eficiência propulsiva decorre da primeira não tomar em consideração o efeito do trabalho mecânico interno para o trabalho mecânico total produzido. Contudo, dada a amplitude de velocidades obtidas por este tipo de nadadores, o trabalho mecânico interno pode ser considerado como negligenciável [10]. Portanto, nesta circunstância, a eficiência propulsiva apresenta um valor próximo da eficiência de Froude. Posteriormente todos os parâmetros biomecânicos foram relativizados à velocidade das 4mmol de lactato sanguíneo para possibilitar a comparação de todos os sujeitos à mesma intensidade de esforço por meio de interpolação.

2.4 PROCEDIMENTOS ESTATÍSTICOS

A normalidade da distribuição foi verificada através do teste de Shapiro-Wilk. Dado o tamanho reduzido da amostra e a rejeição da hipótese nula (H_0) na análise exploratória, foram adoptados procedimentos estatísticos não paramétricos. A variação ao longo da época foi efectuada através do teste de Friedman, e ainda pela aplicação do Wilcoxon teste para verificação das diferenças entre momentos de avaliação (M_1 vs M_2 ; M_2 vs M_3 ; M_1 vs M_3). Recorreu-se ao teste de Mann-Whitney para analisar as diferenças entre grupos (Int vs Nac). O nível de significância foi determinado para $p \leq 0,05$.

3 RESULTADOS

A figura 1 representa a variação da performance nos 200 m Crol ao longo da época desportiva. Verificou-se uma melhoria mas sem variações significativas. Contudo, a comparação inter-grupal demonstrou diferenças com significado estatístico em todos os momentos de avaliação: M_1 (Int200m = $115,38 \pm 4,33$ s; Nac200m = $121,43 \pm 2,46$ s; $P = 0,03$), M_2 (Int200m = $115,85 \pm 3,12$ s; Nac200m = $121,25 \pm 2,60$ s; $P = 0,03$) e M_3 (Int200m = $115,18 \pm 3,16$ s; Nac200m = $121,41 \pm 3,02$ s; $P = 0,02$).

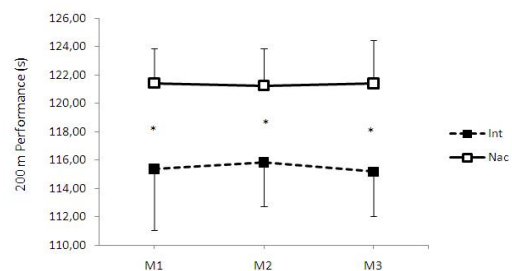


Fig. 1 Variação da performance nos 200 m Crol ao longo da época desportiva. * indica diferenças significativas entre Int e Nac.

A figura 2 representa a variação do perfil biomecânico ao longo da época. Não foram verificadas variações significativas em nenhuma das variáveis em análise. A única excepção foi o IN dos Nac entre o M_2 e o M_3 ($IN_{M_2} = 3,78 \pm 0,26 \text{ m}^2.\text{c}^{-1}.\text{s}^{-1}$; $IN_{M_3} = 3,88 \pm 0,22 \text{ m}^2.\text{c}^{-1}.\text{s}^{-1}$; $P = 0,05$). No entanto foram encontrados valores perto do valor de corte definido para a significância estatística também no IN do grupo internacional entre o M_1 e o M_2 ($IN_{M_1} = 3,75 \pm 0,29 \text{ m}^2.\text{c}^{-1}.\text{s}^{-1}$; $IN_{M_2} = 3,78 \pm 0,26 \text{ m}^2.\text{c}^{-1}.\text{s}^{-1}$; $P = 0,06$), e entre o M_1 e o M_3 ($IN_{M_1} = 3,75 \pm 0,29 \text{ m}^2.\text{c}^{-1}.\text{s}^{-1}$; $IN_{M_3} = 3,88 \pm 0,22 \text{ m}^2.\text{c}^{-1}.\text{s}^{-1}$; $P = 0,07$). Na comparação entre grupos também não se encontraram diferenças com significado estatístico em todas as variáveis biomecânicas. Mais uma vez o IN no M_1 ($IN_{Int} = 4,12 \pm 0,26 \text{ m}^2.\text{c}^{-1}.\text{s}^{-1}$; $IN_{Nac} = 3,75 \pm 0,29 \text{ m}^2.\text{c}^{-1}.\text{s}^{-1}$; $P = 0,06$), e no M_3 ($IN_{Int} = 4,22 \pm 0,21 \text{ m}^2.\text{c}^{-1}.\text{s}^{-1}$; $IN_{Nac} = 3,88 \pm 0,22 \text{ m}^2.\text{c}^{-1}.\text{s}^{-1}$; $P = 0,07$) apresentou valores perto da significância estatística.

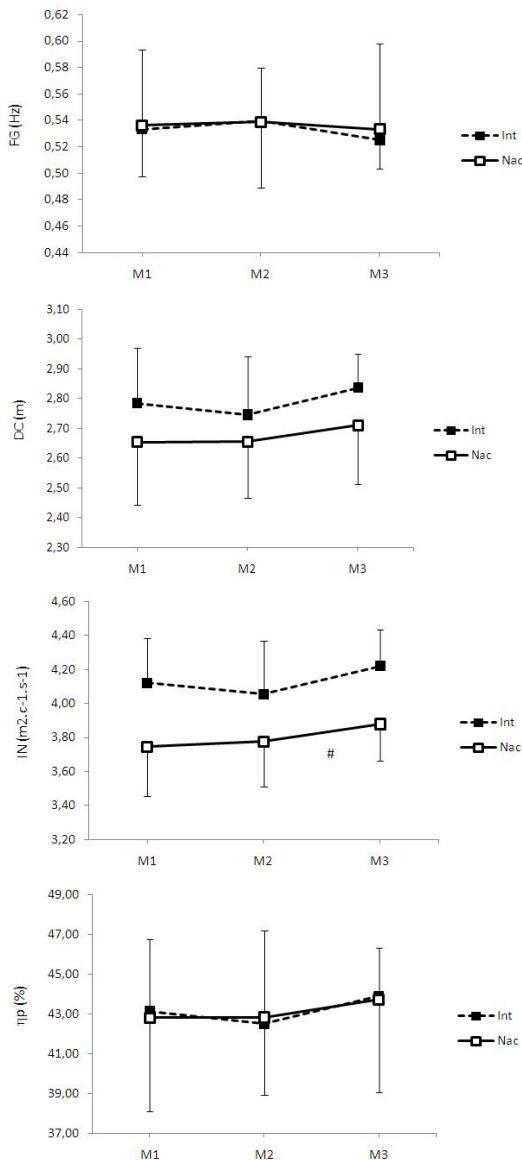


Fig. 2 Variação dos parâmetros biomecânicos ao longo dos três momentos de avaliação. # representa diferenças significativas no IN dos Nac entre o M₂ e o M₃.

4 DISCUSSÃO

Foi verificada uma melhoria na performance contudo, sem variações significativas ao longo da época desportiva. Semelhante resultado já foi sugerido após sete semanas [12] ou até mesmo oito meses [13] de treino. Devido ao patamar maximal atingido por nadadores de elite na fase mais adiantada da sua carreira, é difícil promover melhorias elevadas ao longo de uma época. Assim torna-se difícil do ponto de vista estatístico obter diferenças significativas. Em determinados casos, nadadores com este nível competitivo treinam com o intuito de melhorar décimas ou

até mesmo centésimas de segundo de época para época ou até mesmo durante um ciclo Olímpico [14]. No entanto diversos estudos já apresentaram melhorias na performance com significado estatístico após poucas semanas de treino [15] ou até mesmo de uma época para a seguinte [4; 15; 16].

A comparação inter-grupal da performance demonstrou diferenças significativas entre todos os momentos de avaliação. Obviamente os nadadores Int possuem níveis mais elevados de performance do que os Nac facto suportado pela sua presença assídua em competições internacionais. Mais ainda, os Int necessitam de ter um rendimento mais elevado durante todos os momentos da época de modo a não serem excluídos dos apoios em termos financeiros, treino, controlo e avaliação, que o estar facto de estar inserido no projecto Olímpico lhes proporciona.

Nos parâmetros determinantes do ciclo gestual verificou-se uma estabilização da FG e um aumento da DC contudo sem variações significativas. A v representa uma combinação única entre DC e FG [8]. À medida que a v aumenta, existe menos possibilidade de combinar FG e DC. Por isso, a estratégia adoptada foi o aumento da DC ao longo da época mantendo a FG. Em determinado ponto da carreira do nadador ele atinge um padrão técnico maximal onde se torna difícil (mas não impossível) observar diferenças significativas na mecânica da braçada. Diversos estudos já identificaram que, após meses de treino, as melhorias na velocidade de nado estavam relacionadas com aumentos significativos na DC [4; 17].

Os nadadores Int apresentaram valores mais elevados de DC e inferiores de FG quando comparados com os Nac. É consensual do ponto de vista transversal, que nadadores de nível elevado possuem uma DC superior quando comparados com os de menor nível competitivo [18; 19]. Este facto poderá assentar nas características antropométricas [20], elevado índice de capacidade [7] ou até perfil genético [21], razões essas que foram recentemente sugeridas na literatura. O IN e a

np tidos como indicadores de eficiência de nado melhoraram ao longo do estudo. No entanto, o único significado estatístico foi observado no IN dos Nac de M_2 para M_3 . Até ao momento existe falta de estudos que retratem o estado destas variáveis em nadadores de elite ao longo da época. Apenas uma tentativa foi efectuada com nadadores jovens onde foram evidenciadas melhorias no IN com significado estatístico ao longo de duas épocas [5; 6]. A comparação inter-grupal também não demonstrou diferenças significativas em ambas as variáveis. A literatura transversal sugere que nadadores de nível elevado possuem maior IN e η quando comparados com os de menor nível [22; 23]. Desta feita, este estudo apresenta uma tendência similar se tivermos em consideração os valores perto da significância estatística encontrados para o IN no M_1 e M_2 .

5 CONCLUSÃO

Parece não se verificarem modificações significativas na performance e no perfil biomecânico de nadadores de elite ao longo da uma época desportiva do ponto de vista meramente matemático (i.e. estatístico). Contudo é obvia uma ligeira tendência para melhoria entre o início e o fim da época desportiva. Os nadadores Int em todo o momento são mais rápidos e apresentam-se mais eficientes do que os nadadores Nac. O aperfeiçoamento do perfil biomecânico, mais precisamente do IN, parece ser determinante para uma melhoria no rendimento e na transição de um patamar nacional para um internacional.

REFERÊNCIAS

- [1] J. Hay, A. Guimarães, "A quantitative look at swimming biomechanics" *Swimming Tech* 20:11-17, 1983.
- [2] F. Huot-Marchand, X. Nesi, M. Sidney, M. Alberty, P. Pelayo "Variations of stroking parameters associated with 200-m competitive performance improvement in top-standard front crawl swimmers" *Sports Biomech* 4:89-99, 2005.
- [3] F. Mingheli e F. Castro "Kinematics parameters of crawl stroke sprinting through a training season". In: Vilas-Boas JP, Alves F, Marques A, (ed). *Biomechanics and Medicine in Swimming X*, Porto, pp. 102-103, 2006.
- [4] B. Termin, D. Pendergast "Training using the stroke-frequency velocity relationship to combine biomechanical and metabolic paradigms". *J Swim Research* 14:9-17, 2000.
- [5] E. Latt, J. Jurimae, K. Haljaste, A. Cicchella, P. Purge, T. Jurimae "Physical development and swimming performance during biological maturation in young female swimmers". *Coll. Antropol.* 33: 117-122, 2009a.
- [6] E. Latt, J. Jurimae, K. Haljaste "Longitudinal development of physical and performance parameters during biological maturation of young male swimmers". *Perceptual and motor Skills* 108:297-307, 2009b.
- [7] TM. Barbosa, RJ Fernandes, KL Keskinen, JP Vilas-Boas "The influence of stroke mechanics into energy cost of elite swimmers". *Eur J Appl Physiol* 103:139-149, 2008.
- [8] A. Craig, D. Pendergast "Relationships of stroke rate, distance per stroke and velocity in competitive swimming." *Med Sci Sports Exerc* 11:278-283, 1979.
- [9] D. Costill, J. Kovaleski, D. Porter, R. Fielding, D. King D "Energy expenditure during front crawl swimming: predicting success in middle-distance events". *Int J Sports Med* 6:266-270, 1985.
- [10] P. Zamparo, D. Pendergast, J. Mollendorf, B. Termin, A. Minetti A "An energy balance of front crawl". *Eur J Appl Physiol* 94:134-144, 2005.
- [11] P. Zamparo "Effects of age and gender on the propelling efficiency of the arm stroke". *European Journal of Applied Physiology* 2006; 97:52-58, 2006.
- [12] S. Hooper, L. Mackinnon, E. Ginn "Effects of three tapering techniques on the performance, forces, and psychometric measures of competitive swimmers". *Eur J Appl Physiol* 78:258-263, 1998.
- [13] D. Pyne, H. Lee, K. Swanwick "Monitoring the lactate threshold in world ranked swimmers". *Med Sci Sports Exerc* 33:291-7, 2001.
- [14] M. Costa, D. Marinho, V. Reis, A. Silva, M. Marques, J. Bragada, T. Barbosa "Tracking the performance of world-ranked swimmers". *J Sports Sci and Med* 9:411-17, 2010.
- [15] I. Mujika, J. Chatard, T. Busso, A. Geysant, F. Barale, L. Lacoste L "Effects of training on performance in competitive swimming". *Canadian JI of Applied Physiol* 20:395-406, 1995.
- [16] J. Trinity, M. Pahnke, J. Sterkel, E. Coyle "Maximal power and performance during a swim taper". *Int J Sports Med* 29:500-506, 2008.
- [17] K. Wakayoshi, T. Yoshida, Y. Ikuta, Y. Mutoh, M. Miyashita M "Adaptations to six months of aerobic swim training: Changes in velocity, stroke rate, stroke length and blood lactate". *Int J Sports Med* 14:368-72, 1993.
- [18] A. Craig, P. Skehan, J. Pawelczyk, W. Boomer "Velocity, stroke rate and distance per stroke during elite swimming competition". *Med Sci Sports Exerc* 17:625-634, 1985.

- [19] L. Seifert, D. Chollet, J. Chatard "Kinematic change during a 100-m Front Crawl: effects of performance level and gender". *Med Sci Sports Exerc* 39:1784-1793, 2007.
- [20] P. Zamparo, G. Antonutto, C. Capelli, M. Francescato, M. Girardis, R. Sangoi, R. Soule, D. Pendergast "Effects of body size, body density, gender and growth on underwater torque". *Scand J Med & Sci Sports* 6:273-80, 1996.
- [21] A. Costa, A. Silva, N. Garrido, H. Louro, D. Marinho, M. Marques, L. Breitenfeld "Angiotensin converting enzyme genotype affects skeletal muscle strength in elite athletes". *J Sport Sci and Med* 8:410-418, 2009.
- [22] H. Toussaint "Differences in propelling efficiency between competitive and triathlon swimmers". *Med Sci Sports Exerc* 22:409-415, 1990.
- [23] J. Sánchez, R. Arellano "*Stroke index values according to level, gender, swimming style and event race distance*". In: Gianikellis K, (ed). XXth International Symposium on Biomechanics in Sports, Cáceres pp. 56-59, 2002.